

---

## TRATAMENTO DE RUÍDO EM IMAGENS DE DISTÂNCIA OBTIDAS COM A CÂMARA PMD[VISION]<sup>®</sup>CAMCUBE 2.0

ANDREY AUGUSTO ALVES DE OLIVEIRA<sup>1</sup>  
JORGE ANTONIO SILVA CENTENO<sup>2</sup>  
BORIS JUTZI<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - PPGCG  
Departamento de Geomática, Curitiba, PR  
<sup>1</sup>andreyaugusto6@hotmail.com  
<sup>2</sup>centeno@ufpr.br

<sup>3</sup>Karlsruhe Institute of Technology - KIT  
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung - IPF  
<sup>3</sup>Boris.jutzi@kit.edu

---

**RESUMO** - Este trabalho aborda opções para reduzir o ruído em imagens de distância obtidas com a câmara PMD[vision]<sup>®</sup>CamCube 2.0. Este é um equipamento que calcula a distância de objetos utilizando o princípio do tempo-de-vôo. Uma das vantagens desta câmara é que fornece informações sobre a distância de um grande número de pontos, ou pixels, ao mesmo tempo. A qualidade dos dados é fortemente afetada pelo tempo de integração na tomada da imagem e, dependendo deste tempo, as imagens obtidas podem ser fortemente afetadas por ruídos. Neste artigo, duas opções para a redução do ruído são discutidas: filtragem no espaço e no tempo de integração. Experimentos com filtro passa-baixas e da mediana são realizados a fim de reduzir o ruído no domínio espacial. Com a mesma finalidade, a média para cada tempo de integração é calculada a partir de uma série de imagens tomadas a partir do mesmo ponto de vista.

**ABSTRACT** - This paper discusses options for reducing noise in range images obtained with the PMD[vision]<sup>®</sup>CamCube 2.0. This is a device that computes the range using the time-of-flight principle. One of the advantages of such cameras is that it provides range information of a large number of points, its pixels, at the same time. The data quality is strongly affected by the integration time. The obtained images, depending on the integration time, may be strongly affected by noise. In the paper two options for noise reduction are discussed: spatial and time filtering. Experiments with low-pass and median filters are performed in order to reduce noise in the spatial domain. With the same purpose, a mean value is computed by the average of a series of images taken from the same point of view.

---

### 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia utilizada nos mapeamentos está em constante desenvolvimento. A obtenção da informação métrica sem entrar em contato com o objeto é cada vez mais comum, utiliza para isso imagens digitais e o processamento digital dos dados. Neste sentido, uma opção promissora na obtenção de dados tridimensionais é o uso de câmaras de distância (*range cameras*), como por exemplo, a câmara PMD[vision]<sup>®</sup>CamCube 2.0 que utiliza um sensor de imageamento PMD (*Photonic Mixer Device*) desenvolvido pela empresa PMD Technologies, sediada na cidade de Siegen, Alemanha.

Este equipamento fornece imagens digitais com informações de distância para cada pixel. O sensor é um chip com tecnologia CMOS (*Complementary Metal Oxide*

*Semiconductor*) padrão, com a particularidade de armazenar a distância de cada pixel. Estes dados são chamados de imagens de distância, e possibilitam a percepção de profundidade dos objetos e também aplicações em outras áreas tais como a robótica, prevenção de acidentes automobilísticos, medicina, além de jogos eletrônicos.

Na prática é necessário o pré-processamento destes dados para eliminar ruídos. Em uma etapa inicial deve ser definido o melhor tempo de integração na tomada da imagem de distância e, em seguida, é realizado um tratamento dos ruídos presentes na imagem, sendo este o foco do presente estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Princípio do tempo-de-vôo (*Time-Of-Flight*)

O princípio do tempo-de-vôo permite calcular a distância de objetos a partir da emissão e recepção de um pulso, ou raio de luz. Utiliza-se para isso um conjunto de emissor e receptor ópticos, que mede o tempo necessário para o raio retornar para o sensor após atingir o alvo, com base no conhecimento da velocidade da luz propagada no vácuo.

De acordo com CENTENO (2004) o cálculo da distância pode ser realizado através de dois métodos:

1. Tempo-de-vôo de pulsos curtos de energia;
2. Mudança de fase de uma onda contínua.

Sistemas que utilizam o primeiro método transmitem um único pulso ou sinal, e medem o tempo de retorno deste através do tempo de retardo, ou seja, quanto um determinado ponto do pulso de retorno difere da posição que deveria estar com relação à posição do pulso emitido. Quanto melhor for a medida do tempo, melhor será a precisão da distância calculada, sendo então, a precisão do relógio do sensor um fator de grande importância. Para pulsos emitidos por uma fonte de luz, pode-se calcular a distância com a fórmula (1). O afastamento e duração do pulso são fatores determinantes na resolução da medida de distância com este método.

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \quad (1)$$

Onde:

- $D$  – distância entre o sensor e a superfície;  
 $c$  – valor constante da velocidade da luz;  
 $t$  – variação de tempo entre emissão e recepção.

O segundo método trabalha com a determinação da mudança de fase de uma onda contínua. Pode ser utilizado para evitar o problema com a medida de alta precisão do tempo. Este método considera que o sinal refletido pelo alvo, mantém a mesma forma do sinal modulado emitido, mas com fase diferente. Sendo assim, a mudança de fase entre os dois sinais pode ser utilizada para calcular a distância, através da equação (2):

$$D = \frac{\varphi \cdot c}{4 \cdot \pi \cdot \gamma} \quad (2)$$

Onde:

- $\varphi$  - diferença de fase entre as ondas;  
 $\gamma$  - frequência do sinal.

No sistema PMD a distância entre o sensor e o alvo é medida utilizando o método da diferença de fase, com uma função de correlação entre o sinal emitido e o sinal refletido, sendo a amplitude dos sinais moduladas na mesma frequência. Usando a função de correlação, a

iluminação pode ser feita através de diodos emissores de luz LED (*Light Emitting Diode*). Tendo-se a vantagem que esta função pode ser obtida com o sensor PMD, a partir da forma senoidal do sinal refletido.

### 2.2 Erros de medida

Erros de medida podem ser divididos em erros sistemáticos e estatísticos. Erros sistemáticos se repetem seguindo um determinado padrão e podem ser preditos e corrigidos. Os erros estatísticos, também chamados acidentais, são randômicos e não previsíveis, mas podem ser distribuídos entre todo o conjunto de dados por técnicas estatísticas (GEMAEL, 2004).

Os erros estatísticos são derivados do modelo matemático adotado para representar o fenômeno, mostram a relação entre a variância das distâncias e a amplitude dos sinais captados pelos pixels do sensor. A relação estabelecida é que a variância dos dados de distância é inversamente proporcional à raiz quadrada da amplitude do sinal. Quatro erros sistemáticos das câmaras PMD foram estudados por RAPP (2007).

1. Erro devido a uma função de correlação não harmônica utilizada;
2. Ruídos causados pelo tempo de integração;
3. Deslocamentos dos pixels, e;
4. Erro causado por exposição insuficiente.

O erro devido a não harmonia na função de correlação pode ser causado por movimentos na câmara ou objeto a ser imageado. Quando o sistema óptico utilizado e o sinal de referência não são simétricos, ou têm diferentes formas, a função não terá a forma senoidal teórica. Isto ocorre por conter harmônicos de Fourier ímpares. Este erro pode causar redução na distância de calibração do equipamento.

Ruídos podem ser notados quando o tempo de integração na tomada da imagem varia. O conjunto de dados pode apresentar maiores ou menores ruídos, sendo as distorções proporcionais a estes. Quando o tempo de integração é aumentado os ruídos observados no conjunto de dados podem diminuir. Porém, valores extremamente altos voltam a introduzir erros nas medidas. Com esta informação procura-se definir uma função para a modelagem dos ruídos de acordo com o tempo de integração. Analisando dados obtidos com diferentes tempos de integração, pode-se especificar qual o melhor para cada situação da câmara, o que possibilita a diminuição de erros na distância dos pontos.

Deslocamentos dos pixels são notados quando é tomada a imagem de uma parede plana. As distâncias de cada pixel em relação à câmara deveriam ser iguais, mas na prática, não são. Esta distorção tem um padrão fixo em câmaras CCD (*Charge Coupled Device*), e podem ser corrigidas geometricamente através do conhecimento dos parâmetros de orientação interior (IOP) da câmara no momento da exposição.

Erros causados por exposição insuficiente dos pixels sensores não são considerados sistemáticos, porém podem ser preditos. RAPP (2007) descreve que se o valor

da amplitude do sinal é reduzido, o erro de distância é aumentado. Para reduzir os pixels obtidos com exposição insuficiente, pode-se definir um limite no valor da amplitude do sinal. Pixels que tem amplitude menor que 1% do valor máximo da imagem são considerados pixels com exposição insuficiente. Outros critérios de limiar também podem ser utilizados para trabalhar com estes pixels.

### 2.3 Tempo de integração (*Integration Time*)

Este pode ser considerado o parâmetro interno mais crítico em uma câmara de distância, pois descreve o período de tempo que os fótons necessitam para detectar a onda de luz, da emissão até sua recepção, com a finalidade de obter a diferença de fase da onda portadora do sinal para cálculo da distância do alvo. Se o tempo de integração é muito baixo, alguns fótons podem não ser ativados, ocasionando pixels com valor zero, não sendo possível calcular sua distância. Por outro lado, se o tempo de integração é muito elevado, o pixel pode ficar supersaturado, o que também causa erro na medida da distância. Sendo assim, é necessário determinar um tempo de integração específico para cada cena. Para algumas câmaras de distância o tempo de integração é adaptado por hardware, já nas câmaras PMD os problemas com o tempo de integração podem ser resolvidos através de software (WIEDEMANN *et al.*, 2008).

### 2.4 Sensor PMD

Permite armazenar informação da distância de cada pixel da imagem em relação ao sensor. Câmaras com este dispositivo têm a vantagem de imageamento rápido dos objetos, com alta resolução bidimensional como em um chip sensor com tecnologia CMOS. O sensor consiste de um arranjo de pixels PMD, que permitem a rápida detecção e modulação de raios de luz com suas variações, de acordo com a distância da superfície que atinge do objeto imageado.

A tecnologia PMD foi desenvolvida recentemente, tendo-se como base o princípio de tempo-de-vô para a medição de distância e a tecnologia CMOS para a captação das imagens. Pode adquirir dados de distância e intensidade simultaneamente, sem precisar de um mecanismo eletrônico de digitalização mais complexo, como um equipamento laser scanner, por exemplo. Apresenta a desvantagem de ser muito sensível à luz de fundo dos objetos imageados, o que interfere causando ruídos na imagem obtida. No entanto, é uma opção para medir objetos próximos ao sensor e criar modelos digitais para suas superfícies (KHONGSAB, 2009).

### 2.5 Câmaras PMD

Consistem de um chip sensor PMD, uma fonte de iluminação, transmissor e receptor ópticos, periféricos eletrônicos (responsáveis pela modulação da frequência do sinal emitido) e interface digital de controle do

equipamento através de software. Dependendo das exigências de aplicação, as componentes da câmara podem ser adaptadas. Cada componente pode afetar os parâmetros da câmara, tais como a distância da superfície a ser medida, campo de visão, tempo de integração na tomada da imagem e taxa de medição do tempo de retorno do pulso. O pixel deste sensor proporciona a mistura da informação bidimensional obtida através de uma câmara digital tradicional, e a informação de profundidade de cada ponto na imagem. Procurou-se que o projeto desta câmara fosse o mais modular possível, o que pode ampliar a sua gama de aplicações. Isto é possível levando-se em conta as condições adicionais que cada aplicação pode exigir, tais como a estabilidade da luz solar e até mesmo, a necessidade de mudança na iluminação utilizada (PMD Technologies, 2009).

O desempenho do sistema PMD depende da fonte de iluminação, capacidade de fornecimento de energia e eficiência óptica na criação da imagem através da luz. A princípio são utilizados dois tipos de iluminação: LED (*Light Emitting Diode*) e os diodos LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). O desenvolvimento dos LED's fez com que sua eficiência de transformação de energia elétrica em energia óptica seja de 30%. Com este tipo de iluminação o circuito de modulação pode ser implementado mais facilmente, devido à suas características eletro-ópticas e a modulação do feixe pode ser feita por uma óptica integrada LED. Como uma parte considerável da luz fica na borda do feixe, isto se torna uma desvantagem, pois esta área não pode ser utilizada na iluminação do campo de visão do sensor PMD. Outra desvantagem diz respeito ao limite de modulação dos LED's comerciais, que é de 20MHz à 30MHz. Os diodos LASER têm eficiência de até 50%, dependendo da potência óptica de saída utilizada, sendo superior a 100MHz a modulação de frequência máxima que pode ser atingida. O perfil do feixe LASER pode ser melhor adaptado ao campo de visão do sensor PMD, a desvantagem é que este seria um circuito modular mais complexo, e que teria necessidade de maior número de etapas para conseguir estabilizar a fase da onda portadora. Outra desvantagem, é que a implementação de um sistema LASER necessita de maior atenção à segurança dos olhos do que o sistema LED (RINGBECK, 2007).

### 2.6 Câmara PMD[vision]<sup>®</sup> CamCube 2.0

Esta câmara funciona em ambientes internos e externos, com um sensor de 204 x 204 pixels e capta simultaneamente tons de cinza da imagem e as distâncias dos pixels. A figura 1, mostra a câmara PMD[vision]<sup>®</sup> CamCube 2.0 com as fontes LED de iluminação acopladas.



Figura 1 – Câmera PMD[vision]<sup>®</sup> CamCube 2.0.  
Fonte: PMD Technologies (2009).

Este equipamento possibilita a diminuição de manchas na imagem causadas por arrastamento e o aumento do campo de visão, utilizando para isso um adaptador. Modulando as fontes de luz é possível flexibilizar os intervalos de medição e também programar leituras em regiões de interesse. Apresenta uma interface de alta velocidade que fornece dados brutos para o processamento das imagens, funcionando em diferentes canais de frequência. Também existe a opção de atualização do software utilizado para o processamento e visualização dos dados além de disponibilizar interface com outros softwares, tais como o Matlab. A tabela 1 traz algumas especificações técnicas do equipamento.

Tabela 1 - Especificações da câmera PMD CamCube 2.0.  
Fonte: Adaptado de PMD Technologies (2009).

PARÂMETROS	VALOR PADRÃO	OBSERVAÇÕES
Tipo do sensor:	PhotonICs PMD 41k-S (204x204)	Com Supressão de Iluminação de Fundo (SBI).
Distância medição:	0,3–7metros	
Precisão (1 $\sigma$ ):	< 3mm	Para área central do sensor à 2m de distância, e com refletividade de 90%.
Taxa de captura de dados (3D):	25 quadros por segundo (fps)	Valor padrão para a configuração inicial da câmera.
Campo de visão:	40° x 40°	Montagem da lente CS: f=12,8mm.
Comprimento de onda da fonte de iluminação:	870nm	Classe 1 de segurança para os olhos.
Fonte iluminação:	12 V $\pm$ 10%	
Interface	USB 2.0	
Temperatura de operação:	0°C à 50°C	
Temperatura de armazenamento:	-20°C à 85°C	

## 2.7 Tratamento de ruído

Métodos para a redução do ruído na imagem devem ser aplicados nos dados brutos obtidos com a câmera antes do processamento, quando se têm a finalidade de obter informações métricas a respeito do objeto imageado. KHONGSAB (2009) em seu trabalho com a câmera PMD[vision]<sup>®</sup> 19k, aplica cinco etapas no pré-processamento de seus dados, derivadas de técnicas aplicadas em imagens 2D. As etapas são as seguintes:

1. Com a primeira etapa procura-se diminuir os pixels saturados por exposição prolongada na tomada da imagem. Quando o sensor capta a luz, tem um limite máximo de saturação que não pode ser diminuído posteriormente. Este efeito causa a queima do filme nas fotografias analógicas. O método sugerido no estudo de KHONGSAB utiliza como parâmetro principal o tempo de integração na captação da fotografia para controlar a saturação dos pixels;
2. Na segunda etapa, diminui-se o ruído na imagem de distância passando-se um filtro da mediana, por conservar os detalhes da imagem e também suavizar as superfícies;
3. O tempo de integração na tomada da imagem pode ser variado para diminuir ruídos na imagem. Como este tempo é aplicado globalmente ao sensor, acaba influenciando todos os pixels por igual. Alguns apresentam problemas de baixa exposição, pois no caso da redução do tempo de integração, não receberam energia eletromagnética suficiente, sendo chamados de pixels com subexposição. Estes podem ser minimizados com o pré-processamento, definindo-se limites nos valores de amplitude dos sinais recebidos;
4. O efeito de multi-caminho na reflexão do sinal é analisado na quarta etapa. Este efeito pode causar medidas de distâncias incorretas. Existe nesta fase o problema de pontos de borda, que são causados pela reflexão de dois sinais para um mesmo ponto. A causa deste problema é a reflexão de um sinal em dois objetos adjacentes, um à frente e um mais ao fundo. A tendência do algoritmo utilizado neste tipo de situação é calcular uma média para a distância deste ponto, originando uma distância que não condiz com a realidade, sendo necessária a retirada deste ponto do conjunto de observações;
5. Por fim, na quinta etapa, os dados ainda estão referenciados a um sistema de coordenadas radiais da imagem e devem ser transformados para um sistema ortogonal, o que proporciona o cálculo de coordenadas tridimensionais (x,y,z) para os pontos em um sistema local.

A figura 2 ilustra o fluxograma empregado no pré-processamento das imagens de distância.



Figura 2 – Fluxograma do pré-processamento.  
Fonte: Adaptado de KHONGSAB (2009).

### 3 METODOLOGIA

O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a presença de ruídos em função do tempo de integração e procurar opções para a redução do ruído nas imagens. Três técnicas serão verificadas neste trabalho. As duas primeiras são o uso de filtros passa-baixas e da mediana no domínio da imagem. O efeito de um filtro espacial passa-baixas é o de suavização da imagem analisando a vizinhança espacial do pixel. Já o filtro da mediana suaviza a imagem, mas não degrada as bordas de forma extrema como no outro caso. Serão avaliadas estas duas filtragens. A terceira opção é o cálculo da média temporal através do tempo de integração.

#### 3.1 Filtragem passa-baixas pela média

É realizada com o cálculo da média da vizinhança em torno do pixel de interesse e tem o efeito de suavizar a imagem. Este processo, conhecido como filtro linear passa-baixas atenua as altas frequências, no espaço de frequências, que correspondem às transições rápidas. Este tipo de variação caracteriza também a presença de ruído. A suavização tende a minimizar ruídos e apresenta o efeito de tornar a imagem mais “embaçada”. O filtro linear passa-baixas utilizado tem dimensão 3x3, com pesos iguais para os vizinhos. O modelo matemático utilizado é apresentado com a equação (3) extraída de CENTENO (2004).

$$G(y,x) = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^T (p(i,j) \cdot I(y+i-a, x+j-a)) \quad (3)$$

Onde:

$I(y,x)$  - posição do pixel (linha=y e coluna=x);

$p(i,j)$  - representa o filtro;

$T$  - tamanho da janela;

$G(y,x)$  – imagem resultante da filtragem;

$$a = \text{int}\left(\frac{T}{2}\right) + 1$$

#### 3.2 Filtragem pela mediana

A filtragem pela mediana consiste na substituição do valor central da vizinhança, pelo valor correspondente à mediana dos valores dos pixels da vizinhança. Este método também suaviza a presença de ruído. A diferença principal em relação ao filtro de média é que o filtro de mediana não introduz novos valores na imagem, pois

substitui o valor central da vizinhança por um valor já existente na imagem, sendo assim não degrada as bordas dos objetos na imagem.

#### 3.3 Média temporal

A terceira opção é a ponderação dos valores dos pixels ao longo do tempo. Para isto, uma série de imagens é obtida do mesmo ponto em pequenos intervalos de tempo. O resultado é um conjunto de imagens de um único objeto desde o mesmo ponto de observação, não sendo a geometria da imagem alterada. Assim, cada pixel em uma das imagens tem seu equivalente nas outras. Considerando que o ruído é aleatório, é esperado que o uso de mais de uma imagem diminua a presença de ruído através do cálculo da média.

#### 3.4 Experimentos

Para realizar os experimentos neste trabalho, foram utilizadas imagens de uma parede plana onde aparece também parte de uma porta, a uma distância aproximada de 2,10 metros do sensor. Foram tomadas cinco imagens para cada valor do tempo de integração, que variou entre 500, 5000, 5300, 6000 e 7000µs, gerando assim um conjunto de 25 imagens de distância.

Analisando visualmente as imagens de distância, concluiu-se que os tempos de integração de 500µs e 5000µs eram os mais diferentes entre si. Sem o pré-processamento dos dados, o primeiro apresentou mais ruídos na imagem, e o segundo menos, sendo estes os dados utilizados nos experimentos. Assim, foi definido “a priori” que o melhor tempo de integração para a tomada da imagem de distância é 5000µs. Para diminuir o ruído nas imagens obtidas foram aplicados três procedimentos:

1. Filtragem passa-baixas pela média;
2. Filtragem de suavização pela mediana;
3. Cálculo da média dos valores de distância dos pontos na imagem, para um mesmo tempo de integração.

Com o primeiro procedimento foram geradas duas novas imagens de distância, ilustradas com as figuras 3 e 4, onde pôde-se notar que a melhor saída foi a encontrada utilizando a imagem com tempo de integração de 5000µs.

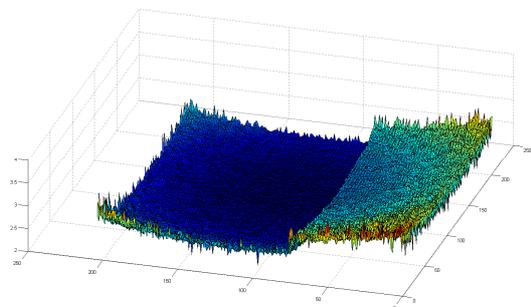


Figura 3 – Passa-baixas, tempo de integração de 500µs.

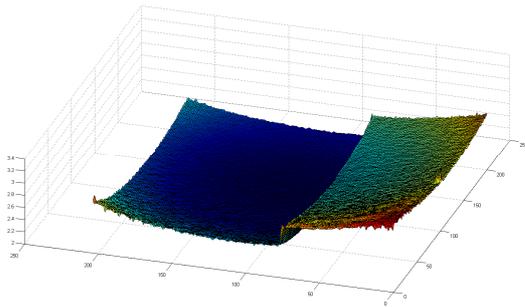


Figura 4 – Passa-baixas, tempo de integração de 5000µs.

A filtragem da mediana demonstrou resultados similares aos obtidos com a filtragem passa-baixas, sendo melhor o resultado obtido para a imagem com tempo de integração de 5000µs. Este experimento é ilustrado com as figuras 5 e 6.

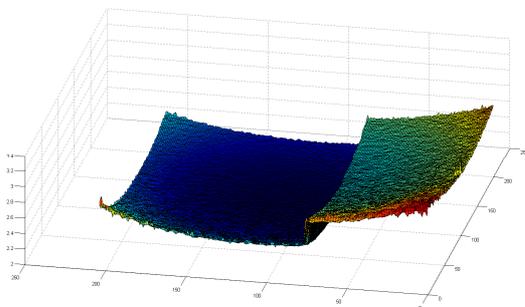


Figura 5 – Mediana, tempo de integração de 500µs.

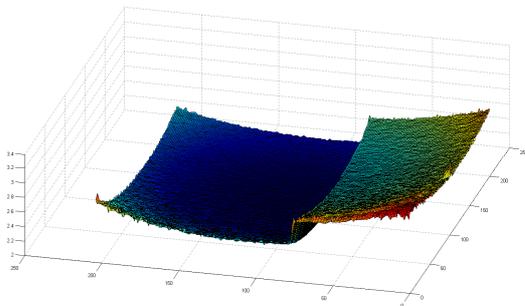


Figura 6 – Mediana, tempo de integração de 5000µs.

Com o terceiro procedimento, cálculo da média do conjunto de cinco observações obtidas com um mesmo ponto de vista e tempo de integração, em instantes brevemente diferentes, pode-se verificar que a imagem com tempo de integração 500µs apresentou mais ruídos e a com 5000µs apresentou menos ruídos, como pode ser visto nas figuras 7 e 8.

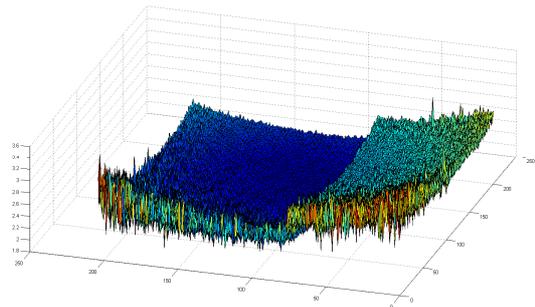


Figura 7 – Média para tempo de integração de 500µs.

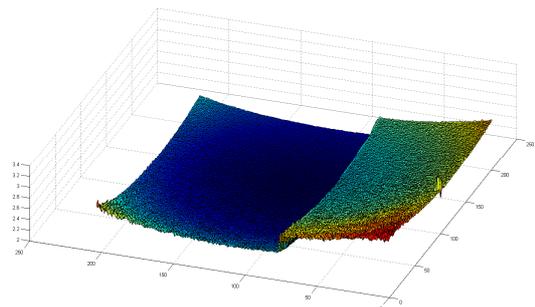


Figura 8 – Média para tempo de integração de 5000µs.

Através da equação (4) calculou-se o desvio padrão para uma janela de 10x10 pixels na região central da imagem, utilizada por ser a área que apresenta menor distorção, considerando-se que a câmara tomou as imagens ortogonalmente à superfície plana.

$$s = +\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \tag{4}$$

Onde:

$s$  - desvio padrão;

$x_i$  - componentes da amostra aleatória;

$\bar{x}$  - média do conjunto de observações;

$n$  - número de observações.

Para o tempo de integração de 5000µs, chegaram-se aos seguintes valores de desvio padrão: 0,0040m para a imagem gerada com a média dos cinco tempos de integração e de 0,0053m para as imagens obtidas com as filtragens, estes foram os melhores resultados obtidos respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

Com o experimento realizado confirmou-se que o tempo de integração ideal para o estudo é o de 5000µs. Notou-se também que a média dos tempos de integração para diminuir os ruídos da imagem apresentou melhores resultados do que utilizar os filtros.

No entanto, os desvios apresentados diferem apenas 0,0013m, dependendo da precisão necessária para o produto final, recomenda-se a utilização da filtragem de suavização pela mediana, pois não degrada extremamente as bordas e mantém os valores originais para as distâncias dos pixels da imagem.

Por fim, conclui-se que câmaras de distância, tais como a PMD[vision]<sup>®</sup>CamCube 2.0, tornam-se uma ferramenta para a medição de objetos e obtenção de informações métricas, isto quando são consideradas pequenas distâncias de 0,3 à 7 metros, entre o objeto e o equipamento sensor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade de Karlsruhe na Alemanha, e também ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela infra-estrutura e recursos disponibilizados.

## REFERÊNCIAS

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Ed. do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2004. 209p.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

KHONGSAB, P. **Signal Processing and Performance Evaluation of a PMD Camera for Space Docking**. Master's Thesis, Lulea University of Technology, Kiruna, 2009. 88p.

PMD Technologies. **PMD[vision]<sup>®</sup>CamCube 2.0**. Datasheet V. N°. 20090601, 2009. 4p. Disponível em: <http://www.pmdtec.com>. Acesso em: 01/03/2010.

RAPP, H. **Experimental and Theoretical Investigation of Correlating TOF-Camera Systems**. Diploma Thesis in Physics, Faculty for Physics and Astronomy, University of Heidelberg, Alemanha, 2007. 71p.

RINGBECK, T. **A 3D time of flight camera for object detection**. Optical 3-D Measurement Techniques, Plenary Session 1: Range Imaging I. Zürich, 2007. 10p.

WIEDEMANN, M.; SAUER, M.; DRIEWER, F.; SCHILLING, K. **Analysis and characterization of the PMD camera for application in mobile robotics**. In: Proceedings of the 17<sup>th</sup> World Congress, The International Federation of Automatic Control. Seoul, Korea, July 6-11, 2008. 6p. Disponível em: <http://www.nt.ntnu.no>. Acesso em: 06/03/2010.